

ANALISIS KEHILANGAN STEAM DAN PENURUNAN TEMPERATUR PADA JARINGAN DISTRIBUSI STEAM DARI PT. KDM KE PT. KNI

Ahmad Yani¹, Ristyohadi²

Jurusan Teknik Mesin Universitas Trunajaya Bontang,^{1,2}
Jl.Taekwondo RT.9 No. 55 Telp./Fax. (0548) 3035920 Bontang-Kaltim 75311
Email: yanibima@gmail.com¹, ristyohadi@gmail.com²

ABSTRAK

Steam adalah sumber energi yang banyak dipakai dalam dunia industri modern saat ini *Petro Chemical, Oil and Gas, Healt and Food, fertilliser* demikian juga dengan PT. Kaltim Nitrate Indonesia, sebagai penghasil *Ammonium Nitrate* kelas dunia, tentu memerlukan *steam* dalam jumlah yang sangat besar. Untuk memenuhi kebutuhan akan *steam* diperlukan adanya jaringan pipa distribusi atau *pipe line steam* dari PT. Kaltim Daya Mandiri hingga *metering station* yang ada di PT. Kaltim Nitrate Indonesia. Berdasarkan data awal pada *Direct Control System*, ada kehilangan *steam (steam loss)* sebesar 2.5 ton per jam dan penurunan temperatur yang sangat signifikan yaitu sebesar 96 °C. *Line steam* ini menggunakan pipa *Crommoly* berdiameter 8” (200 mm) sepanjang 1008 Meter, terhubung dengan *header* dengan tekanan tinggi Sehingga tekanan *steam* sepanjang jalur distribusi relatif stabil. Untuk mengurangi perpindahan panas yang terjadi, di sepanjang jalur distribusi di pasang lapisan pelindung panas (*Insulation*). Namun demikian karena sifat *steam* yang mudah kehilangan panas karena konduksi, konveksi dan radiasi maka terjadi perpindahan panas secara simultan yang mengakibatkan *steam* mengalami kondensasi atau perubahan fase dari uap kering menjadi uap basah atau cairan. Proses pembuangan air dilakukan oleh *steam trap* namun sering terjadi malah *steam* ikut terbuang percuma karena adanya kebocoran pada *steam trap* hal inilah yang menyebabkan adanya kehilangan *steam* dan penurunan temperatur di sepanjang jalur distribusi *steam* dari Kaltim Daya Mandiri menuju Kaltim Nitrate Indonesia.

Tujuan penelitian ini dilakaukan untuk mencari penyebab terjadinya kehilangan *steam* dan penurunan temperature jaringan pipa distribusi atau *pipe line steam*. Dari hasil penelitian didapatkan penyebab terjadinya kehilangan *steam* dan penurunan temperature jaringan pipa distribusi atau *pipe line steam*:

1. Kehilangan *steam* diakibatkan oleh dua faktor utama yaitu:
 - a. Laju perpindahan secara simultan yang terjadi pada jalur distribusi.
 - b. Kondisi *steam trap* yang bocor (*leaking*)
2. Penurunan temperatur secara signifikan terjadi karena perubaham fase.
3. Perlu pengecekan dan perbaikan berkala sehingga setiap kerusakan yang terjadi dapat diketahui secara dini.

Kata Kunci: kehilangan uap (*steam loss*), penurunan temperatur, dan jaringan distribusi.

PENDAHULUAN

Steam merupakan sumber energi yang sangat potensial dan banyak digunakan di berbagai industri dewasa ini, *Petro Chemical, Power Plant, Oil and Gas, Fertilliser, Food and Beverage, Manufacturing*. Selain bersih *steam* juga memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan sumber energi lainnya antara lain

tidak mencemari lingkungan, mudah di pindahkan dari suatu tempat ketempat yang lainnya, memiliki energi potensial yang tinggi, temperatur yang bervariasi sehingga sangat tepat digunakan transfer panas pada *exanger* maupun alat penukar panas lainnya. Namun *steam* juga memiliki kelemahan terutama dari sifatnya yang mudah kehilangan panas karena proses

konduksi, konveksi, radiasi dan mudah mengalami kondensasi atau berubah fase menjadi air kembali pada tekanan dan temperatur tertentu. Karena sifat *steam* yang demikianlah maka diperlukan suatu *line* atau jalur perpipaan yang berbeda dari *fluida* lainnya. Salah satu persyaratannya adalah adanya pelindung panas yang mampu menahan panas dan mencegah kehilangan panas karena radiasi.[1]

Untuk menghasilkan *Ammonium Nitrate* kelas dunia PT. Kaltim Nitrate Indonesia sangat bergantung pada pasokan *Steam*. Terutama untuk menaikkan suhu *Ammonia* cair menjadi Gas pada *Ammonia Evaporator*. Pada tahap ini *steam* dialirkan melalui pipa pipa kecil dalam alat penukar panas, tujuannya adalah terjadi pertukaran panas antara *Ammonia* cair dengan *steam* sehingga terjadi penguapan. Selain itu *steam* juga digunakan untuk memutar turbin secara terus menerus. Disinilah kondisi *steam* benar benar dijaga terutama temperatur, tekanan, kandungan air dan kecepatan alir (*velocity*) sehingga putaran turbin tetap stabil. Putaran turbine digunakan untuk memutar kompresor Nox dan udara, jadi jika dorongan *steam* terhadap turbin berkurang maka akan berpengaruh terhadap jumlah Nox dan udara yang dihasilkan, padahal dua unsur inilah yang sangat penting dalam memproduksi Nitric Acid sebelum direaksikan kembali dengan *Ammonia* panas untuk membuat *Ammonium Nitrate*. Seperti yang pernah dijelaskan sebelumnya untuk memenuhi kebutuhan *steam* yang begitu besar mengingat PT. Kaltim Nitrate Indonesia belum memiliki boiler tersendiri, maka diperlukan pasokan *steam* dari PT. Kaltim Daya Mandiri melalui pipa distribusi *steam* dengan diameter Pipa 8” sepanjang 1200 m. Untuk mengalirkan *steam* dalam jumlah besar tersebut bukanlah hal yang mudah, diperlukan perencanaan dan desain kalkulasi yang sangat tepat sehingga *steam* tetap dapat mengalir dengan sempurna walaupun pada kenyataannya terjadi kehilangan *steam* dalam jumlah yang sangat besar, 2 ton per

jam bukanlah jumlah yang sedikit bagi PT. Kaltim Nitrate Indonesia, dengan berkurangnya *steam* secara otomatis terjadi penurunan temperatur yang sangat signifikan yaitu 82 °C.[2]

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa setelah melewati pipa sepanjang 1008 meter maka terjadi kehilangan *steam* sebesar 3,5 ton per jam dan penurunan temperatur sebesar 98°C. hal inilah yang mendorong penulis melakukan penelitian ini. Dengan melakukan penelitian ini diharapkan peneliti mampu menyajikan data dan perhitungan yang akurat penyebab hilangnya *steam* dan penurunan temperatur yang terjadi pada jalur distribusi *steam* dari Kaltim daya Mandiri menuju Kaltim Nitrate Indonesia, sehingga mampu memberikan masukan dan solusi yang tepat untuk melakukan perbaikan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui penyebab terjadinya kehilangan *steam* sepanjang saluran distribusi *steam*.
2. Mengetahui penyebab terjadinya penurunan temperatur *steam* sepanjang saluran distribusi *steam*.
3. Mendapatkan solusi yang tepat untuk perbaikan dan mengurangi kerugian karena kehilangan *steam* dan penurunan temperatur.

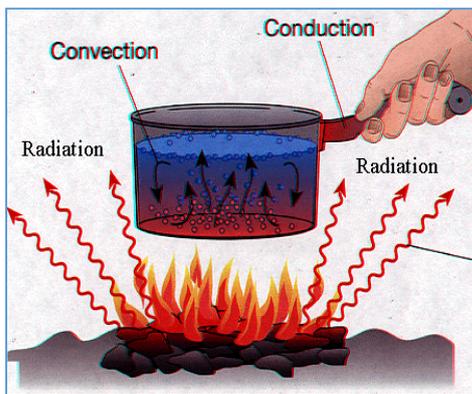
TINJAUAN PUSTAKA

Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi pada suatu bahan karena adanya perbedaan (*gradien*) Suhu. Perpindahan panas ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem lain yang bersuhu lebih rendah dan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperature yang sama, perbedaan temperature merupakan syarat utama terjadinya perpindahan kalor, jika kedua sistem mempunyai temperature yang sama maka tidak akan ada perpindahan kalor pada kedua sistem tersebut. Jumlah aliran panas dinyatakan dengan notasi Q dalam satuan energi yaitu *joule* (j).

Sedangkan laju aliran panas adalah aliran energi persatuan waktu (jam atau detik) dinyatakan dengan notasi Q (Q dot) pada umumnya dalam watt (W). Selain itu ada juga laju aliran panas per satuan luas (q dot) yang sering disebut *fluks* panas atau aliran panas *spesifik*. Harga Q dan q adalah suatu vektor yang arahnya berimpit dengan arah penyebaran panas. [5]

Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energy kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Terdapat tiga macam perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. [3]



Gambar 1. Proses Perpindahan panas

Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi ialah perpindahan panas pada benda padat dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah bertemperatur rendah. Menurut *Fourier*, kecepatan aliran sebanding dengan luas permukaan yang dilalui panas dan perbedaan temperatur serta berbanding terbalik dengan tebal dinding yang dilalui. [4]

$$q = -KA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas (Watt)

K = Konduktivitas termal ($W / m^{\circ}C$)

A = Luas permukaan yang terletak pada aliran panas (m^2)

dT = Beda temperatur permukaan ($K / ^{\circ}C$)

Dimana (K) adalah konduktivitas termal, tanda negatif (-) menyatakan bahwa makin

tebal makin turun temperatur di balik dinding tersebut.

Konduktivitas termal (K) adalah konstanta keseimbangan yang dapat didefinisikan dari hukum *Fourier*. Konduktivitas termal merupakan sifat fisik bahan dan sifat kemampuan bahan memindahkan panas. Setiap bahan mempunyai konduktivitas termal yang berbeda dan tergantung pada struktur fisik bahan, berat jenis, kelembaban, tekanan dan temperatur.

Perpindahan Panas konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu mekanisme perpindahan panas antara permukaan padat dengan *fluida incompressible* maupun *compressible* yang bergerak dan melibatkan konduksi serta gerakan dari *fluida* tersebut. Semakin cepat gerakan *fluida* maka, semakin besar laju perpindahan panas konveksinya. Atas dasar suatu proses pendinginan balok panas yang di tiupkan udara dingin maka proses perpindahan panas konveksi akan terjadi melalui beberapa tahap, pertama energi panas akan mengalir secara konduksi dari permukaan benda padat ke partikel-partikel lapisan *fluida* yang berbatasan, kemudian energy ini akan terbawah menjauh dari permukaan benda padat melalui mekanisme konveksi, yang mana terdapat dua proses yang terjadi secara bersamaan yaitu kombinasi dari efek konduksi di dalam *fluida* akibat gerakan acak antar partikel-partikel *fluida* yang terjadi secara mikroskopis sehingga partikel *fluida* yang memiliki energi lebih tinggi akan memindahkan sebagian energinya pada partikel *fluida* yang memiliki energy lebih rendah, serta adanya gerakan *fluida* secara makroskopis yang akan menggantikan *fluida* yang telah panas di sekitar permukaan benda padat dengan *fluida* dingin. [5]

Proses perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut: [5]

Untuk laju perpindahan panas konduksi yang terjadi sepanjang jalur

distribusi:

$$Q_{kond} = \frac{2\pi L(T_1 - T_5)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \ln \frac{d_{n+1}}{d_i}} \quad (2)$$

$$\frac{Q_{kond}}{L} = \frac{2\pi(T_1 - T_5)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \ln \frac{d_{n+1}}{d_i}} \quad (3)$$

Untuk mengetahui temperatur permukaan pipa (T_2) dapat kita cari dengan persamaan:

$$T_2 = T_1 - \frac{Q_{kond}}{2\pi} \times \frac{1}{k_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (4)$$

$$T_3 = T_2 - \frac{Q_{kond}}{2\pi} \times \frac{1}{k_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \quad (5)$$

Setelah semua temperatur permukaan pipa dan isolasi saluran distribusi *steam* diketahui selanjutnya adalah mencari jumlah kehilangan panas secara konveksi dengan memasukkan rumus rumus sebagai berikut:

$$Q_{konv} = hA(T_s - T_f) \quad (6)$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$h = \frac{nu \cdot k}{Lc}$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_f)D^3}{v^2} Pr$$

$$Lc = D$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$T_f = \frac{(T_1 + T_5)}{2}$$

$$T_f = \frac{(469 + 25)}{2}$$

$$T_f = 247^\circ C = 520^\circ K$$

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{520^\circ K} = 0,001923$$

Berdasarkan Tabel *steam* properti pada suhu $520^\circ K$ uap air memiliki:

$$pr = 0,996; k = 0,339; v = 38,6 \times 10^{-6}; Cp = 1,985$$

Untuk mencari kehilangan panas karena radiasi dapat dicari dengan rumus:

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A(T_1^4 - T_2^4) \quad (7)$$

Dengan:

ε = emissivitas (0 s/d 0,9) semakin tinggi semakin baik seiring dengan kualitas lapisan pelindung panas.

σ = Konstanta Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)

A = Luas area transfer panas $\frac{\pi D^2}{4}$ (m^2)

T_1 = Temperatur permukaan pada inlet ($^\circ K$)

T_2 = Temp. permukaan pada outlet ($^\circ K$)

Untuk mendapatkan jumlah steam yang terkondensasi (ms) menggunakan persamaan:

$$ms = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{hfg + (Cp \times (T_2 - T_1))} \quad (8)$$

Untuk mengetahui kehilangan temperature dapat menggunakan rumus thermodinamika sehingga mendapatkan penurunan temperatur:

$$ms = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{hfg + (Cp \times (T_1 - T_2))} \quad (9)$$

Sehingga menjadi :

$$hfg + (Cp(T_1 - T_2)) = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{ms} \quad (10)$$

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sepanjang jalur distribusi steam di lokasi kerja PT. Kaltim Nitrate Indonesia (KNI), untuk memudahkan proses penelitian penulis membagi wilayah obyek penelitian menjadi tiga bagian yaitu pada saluran distribusi steam (*piping*), pada lapisan pelindung panas, dan pada alat penjebak uap air (*steam trap*) waktu penelitian dimulai Bulan April sampai Bulan Mei 2017. Lokasi penelitian spt diunjukkan pada gambar 2, 3, dan 4 dibawah ini:



Gambar 2. Saluran Distribusi Steam



Gambar 3. Lapisan Pelindung Panas



Gambar 4. Alat Penjebak Uap Air (*Steam Trap*)

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Ultra Sonic Sound Meter

Ultra Sonic Sound Meter adalah alat untuk mendeteksi adanya aliran *steam* atau kondensat pada *Steam Trap*. Dengan alat ini kita dapat mengetahui kondisi peralatan (*Steam Trap*) masih sesuai dengan desain operasional atau mengalami kebocoran diatas ambang batas yang telah ditentukan sehingga penulis dapat menentukan langkah dan jenis perbaikan yang sesuai.

2. Thermo Gun

Thermo Gun merupakan alat untuk mendeteksi temperatur suatu permukaan benda dengan cara menyentuh permukaan dengan sensor yang berupa sinar *laser*. Alat ini berguna untuk memastikan adanya

aliran atau rambatan panas pada permukaan suatu benda.

Teknik Pengumpulan data

Pengumpulan data ini menggunakan beberapa sumber sebagai acuan teoritis untuk menganalisa data. Metode teknik pengumpulan data dalam penelitian ini antara lain:

1. Metode studi literatur

Studi literatur pada penelitian ini, yaitu pengumpulan data teknik yang terkait dengan obyek penelitian yang ada pada dokumen kontrol PT. Kaltim Nitrate Indonesia dan mempelajari berbagai skripsi, hasil penelitian, jurnal, berbagai artikel yang diperoleh dari internet yang berhubungan dengan pemanfaatan energi *steam* untuk alat transfer panas maupun sebagai energi potensial untuk memutar turbin uap, makalah ilmiah dan sumber bacaan lain yang menunjang penelitian dan masalah yang akan dibahas.

2. Metode kaji lapangan

Yaitu dengan mengambil data-data penelitian secara langsung di lapangan. Langkah - langkah yang dilakukan dalam pengumpulan data penelitian di lapangan adalah:

1. Pengambilan data penelitian di lapangan
2. Mengolah data penelitian yang didapatkan dengan menggunakan rumus atau persamaan.
3. Menganalisa data penelitian yang didapatkan
4. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

Teknik Analisa Data

Teknik analisa data menggunakan teknik *deskriptif* berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan. Data yang diperoleh dari hasil penelitian dilapangan kemudian dianalisis menggunakan rumus perpindahan panas untuk mencari kehilangan panas konduksi, konveksi, radiasi, menganalisa kondisi steam trap serta kehilangan remperatur dan

selanjutnya menyimpulkan hasil analisa data tersebut untuk mengetahui permasalahan yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Saluran distribusi *steam* merupakan saluran yang sangat penting bagi PT. Kaltim Nitrate Indonesia. Saluran ini menghubungkan sumber energi (*steam header*) yang ada di area PT. Kaltim Daya Mandiri dan *Metering Station* yang ada di PT. Kaltim Nitrate Indonesia, disinilah lokasi pembacaan secara otomatis jumlah *steam* yang diterima dalam satuan ton per jam. Selain *Metering Station*, *header* juga terpasang *flow meter* yang terintegrasi dengan *DCS (Direct Control System)* yang ada di ruang kendali PT. Kaltim Daya Mandiri. Namun pembacaannya selalu berbeda karena adanya jarak dan perpindahan panas ke lingkungan (*radiasi*). Berdasarkan kesepakatan, *flow meter* yang ada di PT. Kaltim Daya Mandiri yang digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah penggunaan *steam* oleh PT. Kaltim Nitrate Indonesia. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa penelitian ini meliputi tiga (3) bagian utama yaitu:

1. Saluran Distribusi *Steam (Piping)*
2. Lapisan Pelindung Panas (*Insulation*)
3. Pembuangan *Steam Kondensat (Steam Trap)*

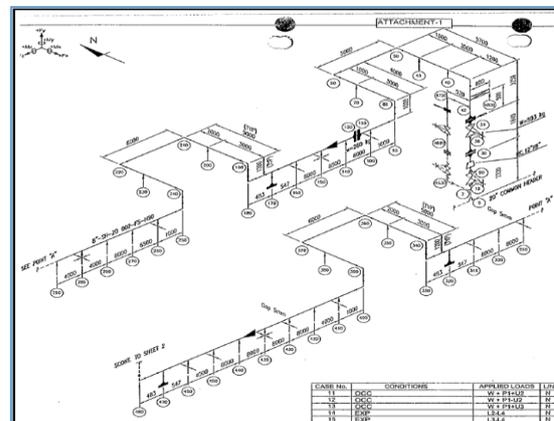
Ketiga bagian inilah berdasarkan teori dan pengamatan yang memberikan kontribusi yang paling besar terhadap hilangnya *steam (Steam loss)* dan penurunan temperatur (*Temperature Loss*) pada saluran distribusi *steam* sepanjang 1008 meter dari PT. Kaltim Daya Mandiri menuju PT. Kaltim Nitrate Indonesia.

Data Lapangan

Berdasarkan *data sheet* dan obsevasi di lapangan saluran distribusi *steam* dari PT. Kaltim Daya Mandiri ke PT. Kaltim Nitrate Indonesia terdiri dari beberapa rangkaian antara lain:

1. Pipa
2. Elbow
3. Valve dan aksesorisnya.

Pada gambar 6 tampak sangat jelas rangkaian pipa, *elbow* serta *valve* dan aksesoris. Semua pipa dan *elbow* di sambung menjadi satu kesatuan sepanjang saluran distribusi *steam*. Proses penyambungan dilakukan dengan metode pengelasan sehingga aman dari kebocoran. Pada ujung pipa *header* dipasang *valve* yang berfungsi sebagai katup pengaman yang dapat dibuka dan ditutup sesuai kebutuhan, misalkan saat perbaikan pada saluran distribusi yang dilakukan setiap tahun sekali. Selain itu pada *header* juga terpasang *by pass valve* yang berfungsi sebagai katup untuk melakukan pemanasan (*heating up*) pada *line* pipa setelah diperbaiki, *line by pass* memiliki diameter yang lebih kecil dari pada saluran utama yaitu 3” sehingga *steam* yang melalui saluran distribusi memiliki *flow* yang lebih sedikit dan mudah dikontrol. Dengan adanya *by pass* ini pemanasan dapat dilakukan secara perlahan dan bertahap. Hal ini dilakukan agar pipa tidak rusak karena mengalami panas kejut *termal shock* yang berlebihan.



Gambar 5. P and ID Saluran Distribusi

Material pipa dan aksesorisnya terbuat dari bahan yang tahan terhadap panas yang tinggi yaitu *A335-P11* menurut standart *ASME*, atau yang sering disebut pipa baja tanpa sambungan *Chrome moly (Seamless Chrome Moly Alloy Steel)* karena mengandung *Chromium* dan *Molybdenum*. Dengan adanya kedua unsur tadi pipa menjadi lebih tahan pada temperatur hingga 510°C. Selain material pemilihan ketebalan pipa juga sangat penting agar pipa mampu

bekerja pada tekanan tertentu yang sesuai dengan operational pabrik. Setiap pipa memiliki ketebalan yang berbeda beda tergantung pada *schedule* (*sch*) yang digunakan. Dengan menggunakan pipa berdiameter 8” dan *schedule* 120 saluran distribusi memiliki pipa dengan ketebalan 18,2626 mm yang mampu menahan tekanan lebih dari 86,6 kg/cu.cm sehingga mampu mengalirkan *steam* dengan baik tanpa takut adanya pipa rusak karena kelebihan tekanan meskipun pipa dalam kondisi panas karena rambatan panas dari *steam*. Pada tabel 1 menggambarkan data teknis pipa saluran distribusi.

Tabel 1. Data Teknis Pipa Saluran Distribusi

TEST PRESSURE 133 kg/cu.cm				
LINE ID	002			
LINE CLASS	F5(1600#)			
LINE SIZE	8"			
PIPE O.D	in(IPS)	219.075		
SCH NO.		120		
*WALL THK	in(IPS)	18,2626		
C. A.	in(IPS)	1.7		
ELB. RAD.	feet (m)	1.5		
INS. THK	in(IPS)	90		
*SP. GR. (INS.)		0,220		
*SP. GR. (FLU.)		0,0242		
MATERIAL		A335-P11		
*SP. GR. (PIPE)		CS II		
PRESS. (P1/HYD)	kg/cu.cm	88,6/133		
TEMP.(T1/T2).	°F(°C)	510/475		

Berdasarkan data diatas, meskipun pipa di lalui oleh *steam superheated* dengan temperatur 470 °C dan tekanan 79 kg/cu.cm tidak terlalu berpengaruh terhadap kondisi pipa. Sebagai gambaran penulis mengambil data yang tersedia di *Direct Control System* PT. Kaltim Daya Mandiri untuk memastikan kondisi *steam* yang mengalir di saluran distribusi. Pada gambar 6 tampak parameter parameter yang berkaitan dengan *steam* mulai dari tekanan yang bekerja, temperatur uap kering, jumlah pemakaian *steam* dalam ton per jam hingga jumlah pemakaian *steam* secara keseluruhan dalam ton.



Gambar 6. Data Teknik Steam Superheated

Setelah mengetahui material pipa dan data *steam properties*, penulis coba mencari data yang berkaitan dengan panjang pipa. Hal ini sangat penting karena data ini digunakan sebagai acuan untuk mengetahui jumlah perpindahan panas maupun laju perpindahan panas yang terjadi pada pipa distribusi sebagai dasar pemasangan lapisan pelindung panas secara maksimal dan ekonomis untuk mengurangi laju perpindahan panas secara radiasi ke lingkungan sekitar.

Steam trap

Berdasarkan P and ID sepanjang saluran distribusi terpasang alat pengebak uap air atau *steam trap* dengan jumlah 20 unit sehingga jumlah total adalah 23 unit karena ditambah 3 unit di area *Outside Battery Limit* PT. Kaltim Nitrate Indonesia. Semua *steam trap* menggunakan type yang sama yaitu *Thermodynamic/Thermostatic*. *Steam trap* ini mampu bekerja pada temperatur 528 °C pada tekanan 88,5 kg/cm². Artinya secara desain *steam trap* ini aman digunakan pada saluran distribusi *steam*, berikut adalah tabel 2 yang memuat *steam trap data sheet*.

Tabel 2. Steam Trap Data Sheet

GENERAL		REMARKS
TAG NO	HST	
QUANTITY / PCS	20	
TYPE	THERMODYNAMIC/ THERMOSTATIC	(Note : 2)
LOCATION/ SERVICE	Line Trap Header SH Existing to BL	
LINE NUMBER	8"-SH-Z0-002-F5-H90	
LINE CLASS	F5	
DESIGN CONDITION		
REQUIRED CAPACITY	Kg/Hour	360
NORMAL FLOW RATE	Kg/Hour	300
SAFETY FACTOR		(Note : 2)
PRESSURE	Kg/Cm ² G	88.5
TEMPERATURE	o C	528
OPERATING CONDITION		
FLUID		HP STEAM CONDENSATE
OPERATING PRESSURE	Kg/Cm ² G	80
TEMPERATURE	° C	460
BACK PRESSURE	Kg/Cm ² G	1.5
MINIMUM DIFFERENTIAL PRESSURE	Kg/Cm ² G	77.5

Dengan mengetahui kondisi piping, lapisan pelindung panas dan *steam trap* penulis dapat menghitung besarnya perpindahan panas yang terjadi secara keseluruhan dan besarnya *kondensat* yang terbuang ke *kondensat port* sehingga mampu menjawab permasalahan penelitian sebagai mana di bawah ini:

1. Apa sebab terjadinya kehilangan *steam* sepanjang saluran distribusi *steam*?
2. Apa sebab terjadinya penurunan temperatur *steam* sepanjang saluran distribusi *steam*?
3. Bagaimana solusi yang tepat guna melakukan perbaikan dan mengurangi kerugian karena kehilangan *steam* dan penurunan temperatur?

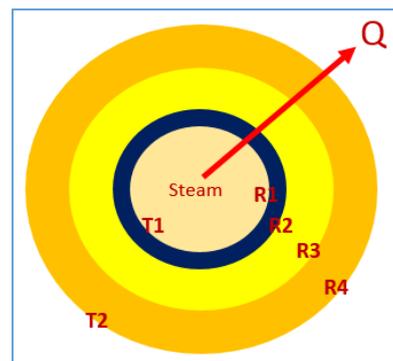
Pembahasan Kehilangan Panas Konduksi dan Konveksi

Kebutuhan *steam* PT. Kaltim Nitrate Indonesia diperoleh dari PT. Kaltim Daya Mandiri. *Steam* tersebut didistribusikan melalui saluran distribusi *steam* sepanjang 1008 meter pada kondisi *superheated* dengan tekanan awal 79 barg dan akan turun menjadi 76 barg setibanya di *metering station* yang ada di PT. Kaltim Nitrate Indonesia. Selama proses distribusi, *steam* akan kehilangan energi dalam bentuk

panas, hal ini karena adanya perpindahan panas secara radiasi dari pipa distribusi ke lingkungan. Panas yang hilang tersebut didapatkan dari *entalpi* penguapan dan *entalpi latent* yang dimiliki *steam superheated*. Setelah kehilangan entalpi tersebut maka *steam* akan berubah fasa menjadi cair atau *kondensat*.

Untuk mengetahui besarnya *steam* yang hilang penulis mencoba melakukan pendekatan rumus rumus perpindahan panas yang telah di paparkan di bab sebelumnya.

Pada gambar 7 adalah ilustrasi pipa dan lapisan pelindung panas sebagai gambaran untuk memudahkan penulis dalam menyajikan perhitungan tentang hilangnya *steam* pada saluran distribusi.



Gambar 7. Ilustrasi Pipa dan Lapisan Pelindung Panas.

Berdasarkan gambar diatas penulis coba mencari besarnya perpindahan panas secara konduksi dengan memasukkan data data yang telah ada.

$$D1 = 182 \text{ mm} = 0,182 \text{ m}$$

$$D2 = 219 \text{ mm} = 0,219 \text{ m}$$

$$D3 = 269 \text{ mm} = 0,269 \text{ m}$$

$$D4 = 309 \text{ mm} = 0,309 \text{ m}$$

$$D5 = 313 \text{ mm} = 0,313 \text{ m}$$

$$k1 = \text{Kond. Termal pipa} = 50 \text{ kkal/m.jam}^\circ\text{C}$$

$$k2 = \text{Kond. Termal isolasi} = 0,075 \text{ kkal/m.jam}^\circ\text{C}$$

$$k3 = \text{Kond. Termal isolasi} = 0,075 \text{ kkal/m.jam}^\circ\text{C}$$

$k_4 = \text{kond. Termal Aluminium} = 150$
 $\text{kkal/m.jam}^\circ\text{C}$

$$T_1 = 469^\circ\text{C}, T_5 = 25^\circ\text{C}$$

Laju perpindahan kalor per satuan panjang adalah qL

$$Q_{kond} = \frac{2\pi L(T_1 - T_5)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \ln \frac{d_{n+1}}{d_i}}$$

$$\frac{Q_{kond}}{L} = \frac{2\pi(T_1 - T_5)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \ln \frac{d_{n+1}}{d_i}}$$

$$\frac{Q_{kond}}{L} = \frac{2\pi(T_1 - T_5)}{\frac{1}{k_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{k_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{k_4} \ln \frac{d_5}{d_4}}$$

$$\frac{Q_{kond}}{L} = \frac{2 \cdot 3,14(469 - 25)}{\frac{1}{50} \ln \frac{0,219}{0,182} + \frac{1}{0,075} \ln \frac{0,269}{0,219} + \frac{1}{0,075} \ln \frac{0,309}{0,269} + \frac{1}{150} \ln \frac{0,313}{0,309}}$$

$$\frac{Q_{kond}}{L} = \frac{2788,320}{4,594}$$

$$\frac{Q_{kond}}{L} = 606,94 \text{ kkal/m.jam}$$

Jadi laju perpindahan panas konduksi yang terjadi sepanjang jalur distribusi sebesar $606,94 \text{ kkal/m.jam}$. Untuk mengetahui temperatur permukaan pipa (T_2) dapat kita cari dengan rumus sebagai berikut:

$$T_2 = T_1 - \frac{\frac{Q_{kond}}{L}}{2\pi} \times \frac{1}{k_1} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

$$T_2 = T_1 - \frac{606,94 \text{ kkal/m.jam}}{2 \cdot 3,14} \times \frac{1}{50 \text{ kkal/m.jam}} \ln \frac{0,219}{0,182}$$

$$T_2 = 469 - \frac{606,94}{6,28} \times 0,02 \times 0,19$$

$$T_2 = 469 - 0,367$$

$$T_2 = 468,6$$

$$T_3 = T_2 - \frac{\frac{Q_{kond}}{L}}{2\pi} \times \frac{1}{k_2} \ln \frac{d_3}{d_2}$$

$$= 468,6^\circ\text{C} - \frac{606,94 \text{ kkal/m.jam}}{6,28} \times \frac{1}{0,075 \text{ kkal/m.jam}} \ln \frac{0,269 \text{ m}}{0,219 \text{ m}}$$

$$= 468,6^\circ\text{C} - 96,65 \times 13,33 \times 0,206$$

$$= 468,6^\circ\text{C} - 265$$

$$= 203,6^\circ\text{C}$$

$$T_4 = T_3 - \frac{\frac{Q_{kond}}{L}}{2\pi} \times \frac{1}{k_3} \ln \frac{d_4}{d_3}$$

$$T_4 = 203,6^\circ\text{C} - \frac{606,94 \text{ kkal/m.jam}}{2 \cdot 3,14} \times \frac{1}{0,075} \ln \frac{0,309}{0,269}$$

$$T_4 = 203,6^\circ\text{C} - 96,65 \times 13,33 \times 0,139$$

$$T_4 = 25^\circ\text{C}$$

$$T_5 = T_4 - \frac{\frac{Q_{kond}}{L}}{2\pi} \times \frac{1}{k_4} \ln \frac{d_5}{d_4}$$

$$T_5 = 25^\circ\text{C} - \frac{606,94 \text{ kkal/m.jam}}{2 \cdot 3,14} \times \frac{1}{150} \ln \frac{0,313}{0,309}$$

$$T_5 = 25^\circ\text{C} - 96,65 \times 0,007 \times 0,013$$

$$T_5 = 25^\circ\text{C} - 0,0087$$

$$T_5 = 25^\circ\text{C}$$

Setelah semua temperatur permukaan pipa dan isolasi saluran distribusi *steam* diketahui selanjutnya adalah mencari jumlah kehilangan panas secara konveksi dengan memasukkan rumus rumus sebagai berikut:

$$Q_{konv} = hA(T_s - T_f)$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$h = \frac{nu \cdot k}{Lc}$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_f)D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Lc = D$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$T_f = \frac{(T^1 + T_5)}{2}$$

$$T_f = \frac{(469 + 25)}{2}$$

$$T_f = 247^\circ\text{C} = 520^\circ\text{K}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{520^\circ\text{K}} = 0,001923$$

Berdasarkan Tabel *steam* properti pada suhu 520°K uap air memiliki:

$$pr = 0,996; k = 0,339; \nu = 38,6 \times 10^{-6}; Cp = 1,985$$

Sehingga :

$$Ra = \frac{9,8 \cdot 0,001923 \cdot (469 - 247)182^3}{(38,6 \times 10^{-6})^2} \cdot 0,996$$

$$Ra = 1,7 \times 10^7$$

$$nu = \frac{h \cdot k}{Lc} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left\{ \frac{0,559}{Pr} \right\}^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$nu = \frac{h \cdot k}{Lc} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 (1,7 \times 10^7)^{1/6}}{\left[1 + \left\{ \frac{0,559}{0,996} \right\}^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$nu = \frac{h \cdot k}{Lc} = 3,66$$

$$h = \frac{nu \cdot k}{Lc}$$

$$h = \frac{36,6 \times 0,339}{0,182}$$

$$h = 68 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Jadi

$$Q_{konv} = hA(T_s - T_f)$$

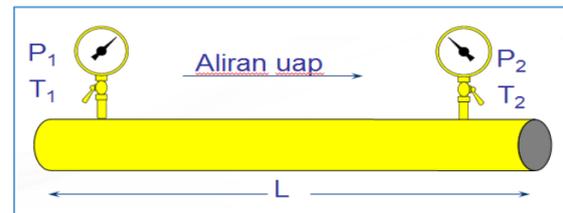
$$Q_{konv} = 68 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 0,182^2 \cdot (469 - 247)$$

$$Q_{konv} = 392,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Pembahasan Kehilangan Panas Radiasi

Steam yang telah kehilangan panas akan berubah menjadi kondensat, hal ini merupakan suatu proses yang alami dan tidak dapat dihindari. Hilangnya panas ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan selama proses distribusi *steam* dari PT. Kaltim Daya Mandiri ke PT. Kaltim Nitrate Indonesia. Pada kondisi hujan kehilangan panas semakin besar dan berlaku sebaliknya. Selain itu kecepatan angin juga memiliki peranan yang sangat penting dalam proses terjadinya transfer panas ke lingkungan.

Gambar 8 dibawah ini penulis sajikan sebagai ilustrasi saluran distribusi *steam* untuk memudahkan proses perhitungan laju kehilangan panas secara radiasi dengan cara memasukan parameter atau data data pada saat penelitian kedalam rumus perpindahan panas secara radiasi (Q_{rad}) berdasarkan Hukum *Planck*.



Gambar 8. Ilustrasi Saluran Distribusi *steam*

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Tekanan dan Temperatur

No	Variabel	Nilai
1	P1	79kg/Cm ²
2	T1	469°C/742°K
3	P2	76kg/Cm ²
4	T2	386°C/659°K
5	L	1008 m
6	D	182 mm/0,182 m

Kehilangan panas karena radiasi dapat dicari dengan rumus:

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A(T_1^4 - T_2^4)$$

Dengan:

ε = emissivitas (0 s/d 0,9) semakin tinggi semakin baik seiring dengan kualitas lapisan pelindung panas.

σ = Konstanta Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

A = Luas area transfer panas $\frac{\pi D^2}{4}$ (m²)

T_1 = Temperatur permukaan pada inlet (°K)

T_2 = Temperatur permukaan pada outlet (°K)

Sehingga :

$$Q_{rad} = 0,9 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \cdot \frac{3,14(0,182)^2}{4} (742^4 - 289^4)$$

$$Q_{rad} = 0,9 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \cdot 0,026 \cdot 2,96 \times 10^{11}$$

$$Q_{rad} = 3929,546 \text{ W/m}$$

Jadi jumlah panas yang hilang adalah $392,9546 \text{ W/m}$. Dari hasil perhitungan

tersebut didapatkan jumlah steam yang terkondensasi (ms).

$$ms = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{hfg + (Cp \times (T_2 - T_1))}$$

$$ms = \frac{3929,546W/m \times 1008 \times 3,6 \times 0,1}{1460 \frac{kJ}{kg} + (2,7 \times (469 - 386))}$$

$$ms = \frac{3929,546W/m \times 1008 \times 3,6 \times 0,1}{1460 \frac{kJ}{kg} + (2,7 \times (469 - 386))}$$

$$ms = \frac{1425954}{1678,7}$$

$$ms = 849,4392 \text{ kg/jam}$$

Jadi total *steam* yang terkondensasi sepanjang 1008 meter karena kehilangan panas secara radiasi selama proses distribusi berlangsung sebesar 0,849 ton per jam, hal ini sangat wajar mengingat sepanjang saluran distribusi *steam* dilapisi oleh lapisan pelindung panas yang berfungsi secara optimal. Namun perhitungan diatas tidak memasukan kecepatan angin sebagai faktor koreksi, jika kecepatan angin terukur adalah 4 m/s, maka kondensasi *steam* akan meningkat menjadi 1 ton per jam.

Pembahasan Kondisi Steam Trap.

Dari hasil kalkulasi *steam* di saluran distribusi terdapat selisih yang sangat signifikan yaitu 3,5 ton per jam. Untuk mencari hilangnya *steam* tersebut ada satu lagi peralatan yang berkaitan dengan hilangnya *steam* dan temperatur di saluran distribusi *steam* yaitu *steam trap*. Untuk mengetahui kondisi *steam trap*, PT. Kaltim Nitrate Indonesia mengadakan *steam* audit atau *survey* untuk memastikan kondisi *steam trap* beroperasi secara optimal dengan begitu tidak ada lagi *steam* yang terbuang kelingkuhan. Pengambilan data temperatur *inlet* dan *outlet* saat *steam trap survey*, pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat *Thermo Gun Flux 62 Max* untuk temperatur dan *Ultra Sonic Steam Trap Tester UP2000* dengan metode standart iso7841:1988.

Sepanjang jalur distribusi terdapat 23 unit *steam trap* yang terdiri dari 20 unit

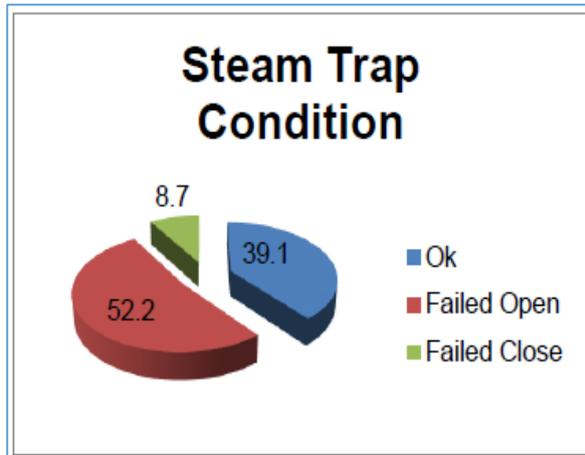
berada di area *Pipe Rack* yang dimulai dari *header* yang berada di PT. Kaltim Daya Mandiri hingga batas luar pagar PT. Kaltim Nitrate Indonesia dan 3 unit berada di *batteray limit Metering Station KNI*. Berdasarkan hasil *survey* yang dilakukan terhadap 23 unit *steam trap* terdapat beberapa *steam trap* yang beroperasi dengan baik, *fail closed* dan *fail open*. Untuk lebih jelasnya hasil *survey* penulis susun dalam Tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 4. Rangkuman Kondisi Steam Trap

Zone	Failed Opened	Failed Closed	Not In Use	Ok	Cold	Rapid Cycle	Not tested	Total
Total Area	12	2	0	9	0	0	0	23
Total	12	2	0	9	0	0	0	23
Percentage (%)	52.2%	8.7%	0%	39.1%	0%	0%	0%	100%

Dari Tabel 4 diatas kondisi 23 *steam trap* adalah sebagai berikut:

- 39,1% atau 9 unit dalam kondisi baik
- 8,7 % atau 2 unit berada pada kondisi *fail to open*, kemungkinan disebabkan adanya *blocking* sehingga terjadi akumulasi kondensat yang menyebabkan *steam trap* tidak bekerja. Perlu dianalisa lebih lanjut untuk mengetahui penyebab pastinya.
- 52,2% atau 12 unit berada dalam kondisi *fail to close (leaking)*. Pada kondisi ini *steam trap* harus segera di ganti atau diperbaiki untuk mencegah semakin besarnya kondensat yang keluar sehingga semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan. Penyebab kebocoran pada *steam trap* yang sering terjadi adalah adanya erosi atau pengikisan pada permukaan seat dan disc, selain itu kebocoran *steam trap* dapat pula disebabkan adanya kesalahan dalam pemasangan atau terbalik.



Gambar 9. grafik detail kondisi *steam trap*

Tabel 5. Steam Loss

No Steam Trap	Lokasi	Steam Loss
SP 001	KDM	101.29
SP 002	PKT	101.29
SP 005	PKT	101.29
SP 011	PKT	101.29
SP 014	KIE	101.29
SP 015	KIE	101.29
SP 016	KIE	101.29
SP 017	KIE	101.29
SP 019	KNI	97.13
SP 020	KNI	8.09
SP 021	KNI	8.09
SP 023	KNI	8.09
Jumlah Steam loss		931.72

Berdasarkan hasil *survey steam trap* dapat penulis simpulkan bahwa 52,2% *steam trap* dalam kondisi bocor (*leaking*) dan potensi kehilangan steam 932 kg/jam atau kurang lebih satu ton per jam sebagai mana di ditunjukkan dalam grafik 4.3. jika harga setiap ton *steam* adalah 20 USD, maka dalam satu hari kehilangan *steam* senilai 480 USD atau 6.240.000 rupiah, seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 6. Harga Steam yang terbuang

Harga/USD	Hari/USD	Bulan/USD	Tahun/USD
20	480	14400	172800

Kerugian bervariasi dari waktu ke waktu sebanding dengan biaya *steam*. Semakin banyak *steam trap* yang leak atau mengalami kebocoran semakin besar pula biaya yang dikeluarkan sementara nilai perbaikan *steam trap* tetap. Ukuran *steam trap* juga sangat berpengaruh terhadap nilai *steam loss*, semakin besar *oriface* semakin banyak pula *steam* yang terbuang sia sia pada *steam trap* yang bocor. Kebocoran pada *steam trap* berakibat meningkatnya

biaya kebutuhan energi, meningkatkan emisi *carbon*, menimbulkan potensi bahaya baru bagi pekerja dan menurunkan margin keuntungan serta kehandalan operasional pabrik. Dengan berbagai alasan di atas maka sangat disarankan untuk mengganti *steam trap* yang rusak atau memperbaiki *steam trap* yang bermasalah.

Pembahasan Kehilangan Temperatur

Berdasarkan kalkulasi hasil *survey* dapat penulis simpulkan bahwa sepanjang saluran distribusi telah terjadi kehilangan *steam* yang disebabkan oleh dua (2) faktor utama yaitu:

1. Laju perpindahan panas secara simultan pada saluran distribusi sebesar satu setengah (1,5) ton per jam
2. Kondisi *steam trap* yang bermasalah (*Leaking*) sebesar satu (1) ton per jam.

Jadi jumlah total kehilangan *steam* sebesar dua koma lima (2,5) ton per jam, jika jumlah itu dimasukkan kedalam rumus termodinamika akan mendapatkan penurunan temperatur yang penulis cari.

$$ms = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{hfg + (Cp \times (T_1 - T_2))}$$

$$hfg + (Cp(T_1 - T_2)) = \frac{Q_{rad} \times L \times 3,6 \times f}{ms}$$

$$(469 - T_2) = \frac{3929,546W / mx3,6 \times 0,1}{\frac{2470}{2,7}} - 1460$$

$$(469 - T_2) = 95,58 \sim 96^\circ C$$

$$(T_2) = 469 - 96^\circ C$$

$$(T_2) = 373^\circ C$$

Jadi setelah melewati saluran distribusi sepanjang 1008 meter *steam* mengalami penurunan temperatur sebesar 96°C. Hal ini disebabkan *steam* mengalami kondensasi dan berubah menjadi air seiring dengan penurunan temperatur. Proses ini merupakan hal yang normal terjadi dalam *steam* karena proses pembentukannya.

KESIMPULAN

1. Kehilangan *steam* diakibatkan oleh dua faktor utama yaitu:

- a. Laju perpindahan secara simultan yang terjadi pada jalur distribusi.
 - b. Kondisi *steam trap* yang bocor (*leaking*)
2. Penurunan temperatur secara signifikan terjadi karena perubahan fase.
 3. Perlu pengecekan dan perbaikan berkala sehingga setiap kerusakan yang terjadi dapat diketahui secara dini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Muntolib & Rusdiyantoro (2014). Analisa Bahan Isolasi Pipa Saluran Uap Panas Pada Boiler Untuk Meminimalisasi Heat Loss. Jurnal Teknik WAKTU Volume 12 Nomor 02 – Juli 2014 – ISSN : 1412-1867.
- [2]. Anonim, (2016) Steam Trap Audit PT. Kaltim Nitrate Indonesia Bontang
- [3]. Cengel, Y. A. (2002). *Heat Transfer a Partical Approach with EES CD*, New York : McGraw-Hill Science Engineering.
- [4]. Holman, J. P. (1997). *Perpindahan Kalor*, Jakarta : Penerbit Airlangga.
- [5]. Haryanto, Agus (2015). *Perpindahan Panas*, Yogyakarta : Penerbit Innosain.